Mastozoología Neotropical, 32(2):e01112, Mendoza, 2025
Versión on-line ISSN 1666-0536
https://doi.org/10.31687/saremMN.25.32.02.07.e1112

Copyright © SAREM, 2025
http://www.sarem.org.ar
http://www.sbmz.org

Artículo Original

AMENAZA DE ATROPELLAMIENTOS PARA LOS MAMÍFEROS MEDIANOS Y GRANDES: IDENTIFICACIÓN DE TRAMOS CRÍTICOS EN EL NOROESTE ARGENTINO

Soledad de Bustos[1,2], Leónidas Lizárraga[2], Fernanda Z. Teixeira[3,4,5], Diego Bombelli[6], Lucía Brunetto[1], Paula Nazaro[7] & Larissa Oliveira Gonçalves[3,8,9]

[1]Dirección Regional Noroeste, Administración de Parques Nacionales, Salta, Argentina. [Correspondencia: Soledad de Bustos <soledebustos@gmail.com>]
[2]Fundación Biodiversidad Argentina, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
[3]Núcleo de Ecologia de Rodovias e Ferrovias, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.
[4]Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.
[5]Center for Large Landscape Conservation, Montana, Estados Unidos.
[6]Parque Nacional Iguazú, Administración de Parques Nacionales, Misiones, Argentina.
[7]Instituto de Ecorregiones Andinas (INECOA), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Jujuy, Argentina.
[8]Laboratório de Ecologia, Manejo e Conservação de Fauna Silvestre, Departamento de Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Brasil.
[9]Bimalab - Laboratório de Evolução, Sistemática e Ecologia de Aves e Mamíferos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

RESUMEN. La infraestructura vial impacta negativamente en los mamíferos, y uno de los efectos más significativos para la persistencia de las poblaciones son los atropellamientos. A lo largo de 137,6 km de la Ruta Nacional N° 34, que recorre la provincia de Jujuy, se cuantificaron y caracterizaron los eventos de atropellamiento de mamíferos silvestres medianos y grandes. Se analizó la relación entre la cantidad de estos eventos, la riqueza de especies y la sumatoria de los valores de conservación por especie (SVCE) atropelladas respecto de la distancia al Parque Nacional Calilegua y a los poblados cercanos, del porcentaje de cobertura boscosa en el entorno y la cantidad de alcantarillas o puentes presentes en cada tramo estudiado. También se identificaron los tramos críticos de atropellamientos, considerando tanto la frecuencia de eventos de atropellamientos como la SVCE. Se registraron 144 eventos de atropellamientos de mamíferos pertenecientes a 17 especies. Los zorros fueron las especies más frecuentemente atropelladas (*Cerdocyon thous* y *Lycalopex gymnocercus*), así como también especies del orden Carnivora y del grupo trófico de los omnívoros. La distancia al Parque Nacional Calilegua explicó mejor el patrón de atropellamientos. Se identificaron diez tramos críticos en función del número de eventos de atropellamiento y 15 tramos críticos basados en la SVCE de las especies atropelladas, concentrándose principalmente en las zonas central y norte de la ruta, en proximidad al Parque Nacional Calilegua. Se recomienda implementar medidas de mitigación, como la adaptación de alcantarillas con pasos secos y alambrados en el 11 % de la ruta con tramos críticos de atropellamientos de mamíferos. Además, se recomienda el uso de la SVCE para identificar prioridades de acción y mitigar el impacto de rutas por atropellamientos, dado que permite mayor diferenciación en la intensidad de los tramos críticos basada en el valor de conservación de las especies.

Recibido 20 junio 2024. Aceptado 10 marzo 2025. Editora: M. Victoria Vadell.

ABSTRACT. THREAT OF ROADKILL TO MEDIUM AND LARGE MAMMALS: IDENTIFICATION OF HOTSPOTS IN NORTHWESTERN ARGENTINA. Road infrastructure negatively impacts mammals, with road mortality having the largest potential effect on population persistence. Along 137.6 km of National Route 34 in the province of Jujuy, Argentina, we quantified and characterized roadkill events of medium and large native mammals. We tested the association between the number of roadkills, number of species roadkilled, and the sum of conservation values per species (SVCE) with the distance to Calilegua National Park and to settlements, the percentage of forest cover in the surrounding area, and the number of culverts/bridges present in each road section. We identified roadkill hotspots, considering both the number of roadkill events and the SVCE. We recorded 144 roadkill events of mammals belonging to 17 species. Foxes were the most frequent species (*Cerdocyon thous* and *Lycalopex gymnocercus*), as well as species from the Carnivora order and omnivorous animals. The distance to Calilegua National Park was the best predictor of roadkill. We identified ten hotspots considering the number of roadkill events and 15 considering the SVCE, concentrated mainly in the center and northern parts of the road, near Calilegua National Park. We recommend implementing mitigation measures, such as adapting culverts with dry ledges and fencing along 11 % of the road with critical sections of mammal roadkill. We suggest using the SVCE to identify priority locations for road mortality mitigation, as it provides greater differentiation in hotspot intensity based on species conservation value.

Palabras clave: Impacto de rutas, infraestructura vial, colisión entre animales y vehículos, puntos calientes, Yungas.

Key words: Road impact, road infrastructure, wildlife-vehicle collision, hotspots, Yungas Forest.

Citar como: de Bustos, S., L. Lizárraga, F. Z. Teixeira, D. Bombelli, L. Brunetto, P. Nazaro & L. Oliveira Gonçalves. 2025. Amenaza de atropellamientos para los mamíferos medianos y grandes: Identificación de tramos críticos en el Noroeste Argentino. Mastozoología Neotropical, 32(1):e01112. https://doi.org/10.31687/saremMN.25.32.02.07.e1112

INTRODUCCIÓN

Los mamíferos desempeñan un papel crucial en la biodiversidad y el equilibrio ecológico de los ecosistemas terrestres y acuáticos. Como componentes esenciales de muchas cadenas alimenticias, actúan como depredadores, son presas y dispersores de semillas, lo cual contribuye a la regulación de poblaciones y el mantenimiento de la estructura y función de los ecosistemas (Ceballos & Ehrlich 2002). Sin embargo, la crisis de biodiversidad que estamos atravesando a escala global como consecuencia de las actividades humana, amenaza también a este grupo biológico (Schipper et al. 2008; Bowyer et al. 2019). Entre las principales amenazas mundiales se encuentra el desarrollo de infraestructura vial, y otras, como el cambio del uso del suelo, la fragmentación del paisaje, la cacería y el cambio climático (Redford 1992; Sala et al. 2000; UNEP 2001; Sanderson et al. 2002). Los principales impactos de la infraestructura vial sobre la fauna incluyen la pérdida de hábitat, el efecto de borde generado en las áreas naturales colindantes, el aislamiento de poblaciones por el efecto de barrera, la eliminación de individuos, el aumento del acceso de cazadores a áreas silvestres y diversas formas de contaminación (Andrews 1990; Forman & Alexander 1998; Spellerberg 1998).

Las rutas pueden funcionar como filtros o barreras, si los animales las evitan o mueren al intentar cruzarlas (Bennett 1991; Jaeger et al. 2005; McGregor et al. 2008). El grado en que las rutas afectan a las especies depende de sus características intrínsecas (Bissonette & Adair 2008; Fahrig & Rytwinski 2009; Su et al. 2023), del contexto paisajístico y ambiental, y de las características de la ruta y el tráfico, entre otros factores (Jacobson et al. 2016; Pagany 2020; Cervantes-Huerta et al. 2022; Medrano-Vizcaíno et al. 2023; Su et al. 2023). En relación con las características de las especies, se ha informado que la dieta, la morfología, la abundancia, la historia de vida y el uso de hábitats influyen en el riesgo de atropellamiento de los animales (Caceres 2011; Rytwinski & Fahring 2012; González-Suárez et al. 2018; Medrano-Vizcaíno et al. 2022; Su et al. 2023). En el caso de los mamíferos, el mayor riesgo de atropellamientos es para aquellos de hábitos diurnos, tamaño mediano, movimientos lentos, pequeñas áreas de actividad, rápida reproducción (camadas/año y edades tempranas de madurez), densidades poblacionales altas, con usos amplios de hábitats (incluyendo áreas antropizadas) y, aunque discutido, los carroñeros e insectívoros (Caceres 2011; González-Suárez et al. 2018; Chen & Koprowski 2019; Hill et al. 2020; Medrano-Vizcaíno et al. 2022; Su

et al. 2023). Mientras que los grandes mamíferos, con tasas reproductivas bajas y mayor movilidad son más susceptibles a los efectos poblacionales negativos de las rutas (Rytwinski & Fahring 2012; Chen & Koprowski 2019).

Los factores paisajísticos y ambientales que influyen en los atropellamientos de la fauna pueden variar según la ubicación y las circunstancias geográficas del entorno (Gunson et al. 2011; Pagany 2020; Cervantes-Huerta et al. 2022; Medrano-Vizcaíno et al. 2023). En cuanto a las características de la ruta y el tráfico, estas incluyen el diseño (tipo, ancho, curvatura, terraplenes, alcantarillas, vegetación de borde, entre otros), su antigüedad, el volumen de tráfico y la velocidad de los vehículos que circulan por ella (Jacobson et al. 2016; Medrano-Vizcaíno et al. 2023; Su et al. 2023). Por ejemplo, el ancho y la linealidad de la ruta, así como también la velocidad de circulación aumentan el riesgo de atropellamientos, mientras que el tráfico, la distancia a las zonas urbanas o la infraestructura a lo largo de la carretera no son factores claramente indicadores (Jacobson et al. 2016; Pagany 2020; Medrano-Vizcaíno et al. 2023; Su et al. 2023). Aunque una ruta en sí es una estructura lineal, el efecto puede extenderse perpendicularmente hasta miles de metros en su entorno (Benítez-López et al. 2010; Su et al. 2023).

La identificación de tramos o puntos críticos, también llamados "hotspots" de atropellamientos a lo largo de rutas, representa un desafío significativo y se utiliza con frecuencia para señalar áreas prioritarias donde se implementan medidas de mitigación (Coelho et al. 2012; Gunson & Teixeira 2015; Medrano-Vizcaíno et al. 2023). En ciertas situaciones, especialmente en rutas antiguas, se ha planteado la posibilidad de que los tramos críticos de atropellamientos no sean los más indicados para aplicar medidas para reducir la mortalidad. Esto se debe a que las poblaciones podrían estar afectadas por efectos acumulativos de atropellamientos anteriores que produjeron un desgaste en las abundancias de las poblaciones animales actuales (Teixeira et al. 2017). No obstante, esta consideración dependerá del entorno paisajístico cercano, capaz de mantener poblaciones de fauna silvestre en condiciones saludables, así como también de las especies involucradas. Por lo tanto, utilizar los tramos críticos de atropellamientos como áreas prioritarias para la implementación de medidas de mitigación parece ser una elección lógica, dado que la mortalidad en las rutas tiene un impacto significativo y provoca efectos más pronunciados en la persistencia de la población que el aislamiento (Forman & Alexander 1998; Jackson & Fahrig 2011).

En Argentina, el sistema vial está conformado por una amplia red de rutas y caminos distribuidos en todo el territorio que cubren 640 000 km. El 52 % corresponde a autopistas y autovías nacionales y se espera que para el 2030 su desarrollo se incremente un 26 % más (Ministerio de Obras Públicas 2021). Allí, la infraestructura de transporte es considerada la segunda fuente de mortalidad directa y de extracción de mamíferos de la naturaleza, solo superada por la cacería ilegal (Abba et al. 2022). El 22 % de las especies de mamíferos están amenazadas por atropellamientos, siendo los carnívoros, los xenartros y los ungulados los grupos en donde más lo mencionan (Abba et al. 2022). La problemática sobre los atropellamientos ocasionados por la operación de las rutas sobre los mamíferos ha sido poco abordada y, hasta el momento, existen escasas publicaciones en Argentina (Nigro & Lodeiro Ocampo 2009; Attademo et al. 2011; Cuyckens et al. 2016a; Bauni et al. 2017).

Caracterizar los patrones de atropellamientos de fauna e identificar los factores que influyen en ellos han sido tendencias de investigación en las últimas décadas y tienen gran importancia para definir medidas de mitigación. Este estudio se enfocó en los eventos de atropellamientos sobre mamíferos silvestres medianos y grandes en la Ruta Nacional N° 34, en el norte de Argentina. Los objetivos del trabajo fueron caracterizar el perfil taxonómico de los atropellamientos en el área de estudio y relacionar la diversidad y conservación de las especies atropelladas con variables del contexto paisajístico y de la infraestructura asociada a la ruta. Se espera que los atropellamientos se relacionen negativamente con la distancia al Parque Nacional Calilegua y con la cantidad de alcantarillas y puentes presentes a lo largo de la ruta; mientras se espera que las relaciones resulten positivas con la distancia a poblados y la cobertura boscosa en un área *buffer* del entorno. Además, se identificaron los tramos críticos de atropellamientos. Los resultados obtenidos servirán para poner de manifiesto la amenaza que representan los atropellamientos para los mamíferos medianos y grandes, un aspecto crucial para abordar y aportar a la conservación de la fauna silvestre en la región. Este grupo, al ser víctima frecuente de accidentes en esta ruta, requiere una atención especial para mitigar los impactos negativos en sus poblaciones.

METODOLOGÍA

Área de estudio

En la provincia de Jujuy, la Ruta Nacional N° 34 se extiende a lo largo de 137,6 km, desde el Río de las Pavas hasta el Río Piedras. El clima es de tipo monzónico, con una marcada

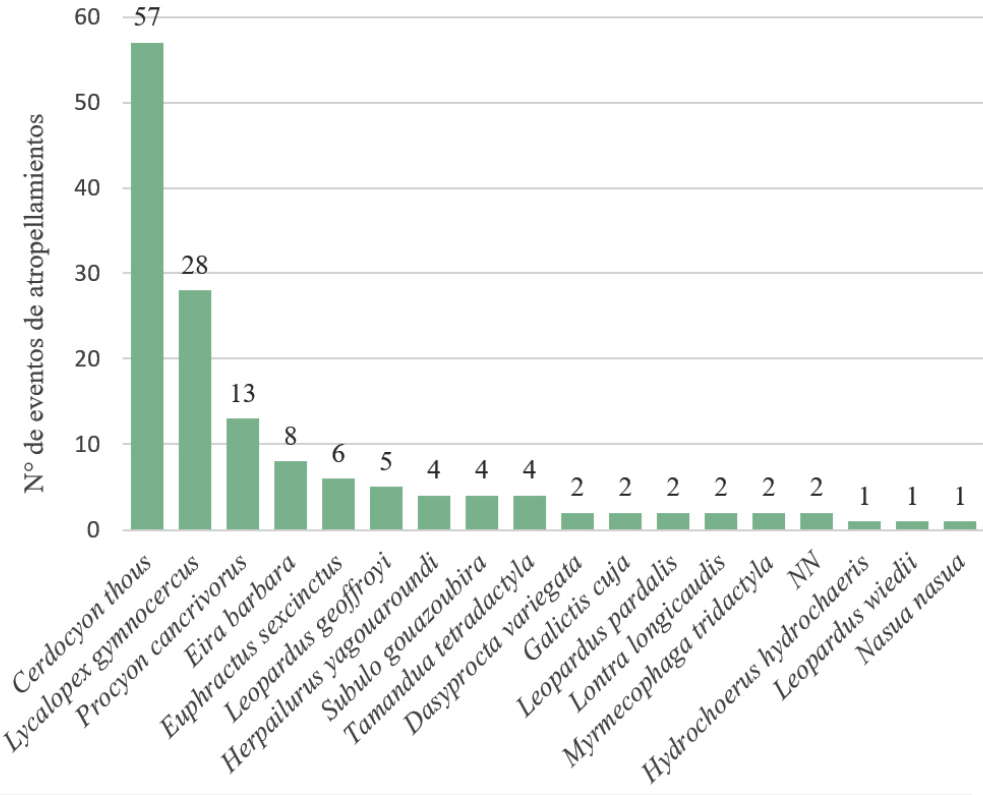

Fig. 1. Eventos de atropellamientos por especie de mamíferos silvestres medianos y grandes en la Ruta Nacional N° 34, provincia de Jujuy.

estacionalidad. Las temperaturas medias anuales en verano oscilan entre los 26 y 28 °C y en invierno entre los 14 y 16 °C; mientras que las precipitaciones medias anuales son de alrededor de 800 mm (Bianchi & Cravero 2010). En su trayectoria, la ruta recorre el rango altitudinal comprendido entre los 380 y 870 msnm, donde se encuentran representadas las ecorregiones de Yungas y Chaco. Atraviesa o bordea áreas de bosques nativos, de cultivos (caña de azúcar, tabaco, entre otros), pueblos y ciudades, como Pampa Blanca, San Pedro de Jujuy, Chalicán, Fraile Pintado, Libertador General San Martín y Calilegua. En el extremo norte de su recorrido se aproxima al Parque Nacional Calilegua y atraviesa los Corredores Biológicos Sauzalito y Chalicán-Fraile Pintado, donde ocurren las últimas conexiones entre dos de las porciones más importantes de las Yungas en Argentina.

Hasta 2023, la Ruta Nacional N° 34 en la provincia de Jujuy estaba comprendida por una vía de doble carril, con un ancho de calzada asfáltica de 9 m, y 2 m de banquina a cada lado. Se trata de una ruta de velocidad media a rápida (60-110 km/h), con un volumen de tráfico estimado en 4.000 vehículos por día y un porcentaje significativo de camiones (aproximadamente el 20 %, Cuyckens et al. 2016a). En 2024 (período no evaluado en este estudio) se iniciaron actividades de ensanchamiento de la calzada en ciertos sectores para transformarla en una ruta de doble vía por carril.

Atropellamientos de mamíferos silvestres

Se registraron los mamíferos silvestres atropellados con más de 500 g de peso en 91 recorridos vehiculares de la Ruta Nacional N° 34 en la provincia de Jujuy (137,6 km). Los recorridos se llevaron a cabo a una velocidad promedio de 80 km/h en distintos horarios del día, durante dos períodos: entre marzo de 2017 y septiembre de 2019 (46 recorridos), y entre junio de 2021 y octubre de 2023 (45 recorridos). El año 2020 no fue relevado debido al aislamiento impuesto por la pandemia. En total, se realizaron 67 recorridos en la estación seca (mayo a octubre) y 24 en la estación húmeda (noviembre a abril). El intervalo promedio entre recorridos fue de 20 días (SD = ±32) durante el período 2017-2019 y de 19 días (SD = ±20) en el período 2021-2023. En cada avistamiento de una carcasa, se detuvo el vehículo para registrar la fecha, las coordenadas geográficas obtenidas mediante GPS, la especie atropellada y el grupo trófico. Para definir la especie se siguió la sistemática empleada por Teta et al. (2024) para Argentina, y para asignar los grupos tróficos se consideró a SAyDS y SAREM (2019). Las carcasas se removieron del lugar donde fueron halladas para evitar el doble recuento.

Con el objetivo de evaluar las especies atropelladas por su valor de conservación, se calculó el índice del valor de conservación por especie (VCE), siguiendo los criterios

Tabla 1

Tipos y rangos de variación por tramo (1 km) de las variables de respuesta y explicativas empleadas en los Modelos Lineales Generalizados. SCVE: sumatoria de los valores de conservación por especie.

	Variables	Tipos	Variación x tramo
De respuesta	Número de eventos de atropellamientos	Discreta	0-6
	Riqueza de especies atropelladas	Discreta	0-4
	SCVE	Discreta	0-34
Explicativas	Distancia al Parque Nacional Calilegua (km)	Continua	1,04-54,84
	Distancia al poblado más cercano (km)	Continua	0-14,80
	Porcentaje de cobertura boscosa	Continua	0-100
	Número de alcantarillas/puentes	Categórica	0, 1, 2, $\geq$ 3

recomendados por Martin et al. (2024). Para obtenerlo, se categorizaron las especies de acuerdo con su singularidad taxonómica, corología y estado de conservación en Argentina. Se asignaron valores de 1 a 5 para expresar la singularidad taxonómica de cada especie, con el valor más alto (n = 5) para órdenes monotípicos y el más bajo (n = 1) para géneros con múltiples especies. También se asignaron valores de 1 a 6 para la distribución de las especies, teniendo en cuenta si la distribución está restringida a una única ecorregión, a una única provincia, a un único dominio, a una única subregión, a una única región o si está incluido en más de una región biogeográfica. Se siguió el esquema biogeográfico de Burkart et al. (1999) para ecorregiones y de Morrone (2014, 2015) para las categorías de provincia y región. De acuerdo con el estado de conservación de cada especie se valoraron de 1 a 10, siguiendo la recategorización de mamíferos de Argentina (SAyDS y SAREM 2019), desde Preocupación Menor (valor = 1), Casi Amenazada (valor = 3), Datos Insuficientes (valor = 5), Vulnerable (valor = 8), En Peligro (valor = 9) y En Peligro Crítico (valor = 10). El VCE se calculó a partir de la suma de las categorías (singularidad taxonómica + corología + categoría de conservación nacional). Para los registros de atropellamiento en los que la especie no pudo ser determinada (NN), se asignó el VCE mínimo.

Relación de los eventos de atropellamientos con el contexto paisajístico y la infraestructura

Para evaluar la relación de los eventos de atropellamientos con el contexto paisajístico y la infraestructura, la ruta se dividió en tramos de 1 km. Las distancias desde el punto central de cada tramo al punto central del Parque Nacional Calilegua y al poblado más cercano, se calcularon empleando las capas de polígono de Áreas Protegidas y de puntos de Localidades (IGN 2023). Se delimitó un *buffer* rectangular de 1 km a cada tramo de la ruta (0,5 km de cada lado) y se estimó el porcentaje de cobertura de bosque nativo utilizando como referencia la capa de deforestación del NOA actualizada al 2022 (IDESA 2023). La elección de este ancho de *buffer* se fundamentó en el estudio de Cuyckens et al. (2016a), que analizó la relación entre atropellamientos de vertebrados y el uso del suelo a diferentes escalas (*buffers* de 0,5; 0,75 y 1 km) a lo largo de la misma ruta, sin encontrar diferencias significativas. Esta escala resulta adecuada para incluir a los mamíferos medianos y grandes presentes en el área, considerando sus variados tamaños corporales y capacidades de desplazamiento.

A lo largo de la ruta se geoposicionaron las alcantarillas y puentes presentes (no canales de agua) y se determinó el número en cada tramo siguiendo las siguientes categorías: 0, 1, 2 y >3 alcantarillas/puentes. Para los análisis geográficos se empleó el *software* libre QGIS 3.16 (QGIS 2024).

Por medio de Modelos Lineales Generalizados (GLM) se relacionaron el número de eventos, la riqueza de especies y la sumatoria de los VCE (SVCE) de los mamíferos medianos y grandes atropellados en cada tramo de 1 km como variables de respuesta, con la distancia al Parque Nacional Calilegua y al poblado más cercano (m), el porcentaje de cobertura boscosa y el número de alcantarillas/puentes por tramo como variables explicativas (**Tabla** 1). Para evitar sobredispersión de los datos se siguieron distribuciones binomiales negativas, con función de enlace *log*. Los modelos que mejor explicaron las variables de respuesta fueron seleccionados usando un acercamiento de selección de variables de hipótesis múltiple (Anderson et al. 2000; Franklin et al. 2001; Johnson & Omland 2004), generando modelos con todas las combinaciones posibles de variables no correlacionadas. Los modelos se ordenaron empleando el Criterio de Información de Akaike corregido para muestras pequeñas (AICc) (Burnham & Anderson 2002). Se seleccionaron las variables que estuvieron incluidas en los modelos plausibles que tuvieron $\triangle$AICc <2. Para los modelos seleccionados se comprobó el ajuste a los supuestos de los GLM utilizando el estadístico 1 (devianza residual/devianza nula), llamado a partir de aquí devianza (d). También se presentó la importancia relativa del modelo utilizando el peso del AICc, que representa probabilidad de que un modelo sea el mejor entre los modelos evaluados. Para los análisis se emplearon los paquetes "MuMin" (Barton 2016), "MASS" (Ripley et al. 2021) y "*performance*" (Lüdecke et al. 2023), mientras que las figuras se produjeron con el paquete "*ggeffects*" (Lüdecke et al. 2021) en el *software* libre R ver. 1.4.1106 (R Core Team 2018).

Tramos críticos de atropellamientos

En los tramos de 1 km definidos previamente, y a partir del número de eventos y la SVCE de los mamíferos medianos

y grandes atropellados, se evaluó en dos etapas, la ocurrencia de agrupamientos de atropellamientos a lo largo de la ruta. Primero, se consideró si la distribución espacial de los atropellamientos estaba agrupada en diferentes escalas espaciales. Para ello, se utilizó la estadística K de Ripley adaptada para análisis en rutas (Coelho et al. 2008). Una vez diagnosticada la ocurrencia de agrupamientos de atropellamientos y a qué escalas estos ocurren a través de la estadística mencionada, se identificaron los puntos críticos en 2D (2D HotSpot Identification) para diferenciar los tramos de la ruta donde se encuentran los agrupamientos de atropellamientos (Coelho et al. 2012). Para el análisis K de Ripley se empleó un radio inicial de 0,5 km, un incremento de radio de 0,5 km y 1.000 simulaciones. Para identificar los tramos críticos se aplicó el análisis 2D HotSpot Identification, utilizando 138 segmentos de 0,997 km con un círculo de radio de 1 km y utilizamos 1.000 simulaciones de distribución aleatoria de los eventos de atropellamientos. Para la evaluación de la significancia de las escalas de agrupamientos (K de Ripley) y de las intensidades de agrupamientos de cada segmento (2D HotSpot Identification), se utilizaron la diferencia entre la estadística calculada para los eventos observados y el promedio de los valores simulados. Se definieron límites de confianza del 95 % para la interpretación de la significancia de la función. Los valores por encima del límite superior de confianza indicaron escalas (K de Ripley) o lugares (2D HotSpot Identification) con una intensidad de agrupamientos significativa (tramos críticos o *hotspots*). Para la frecuencia de eventos, se consideraron todos los registros con valores Z iguales a uno, y para la SVCE se tuvieron en cuenta los VCE como el parámetro Z de cada registro, lo que da más peso en el análisis para eventos de especies con mayor VCE (Coelho et al. 2014). Ambos análisis se realizaron con el *software* libre Siriema v. 2.0 (Coelho et al. 2014).

Se construyó un mapa de tramos críticos de 1 km de atropellamientos de mamíferos medianos y grandes, considerando los índices de intensidad de agrupamientos de puntos generados por el análisis 2D HotSpot Identification con el número de eventos de atropellamientos y la SVCE atropelladas. Se definieron tres niveles de intensidad de atropellamientos: "bajo", "medio" y "alto", y se mapearon usando el *software* QGIS 3.16 (QGIS 2024).

RESULTADOS

Atropellamientos de mamíferos silvestres

En 91 días de relevamientos entre 2017-2019 y 2021-2023, se registraron 144 eventos de mamíferos silvestres medianos y grandes atropellados en la Ruta Nacional N° 34, en la provincia de Jujuy. Estos correspondieron a 17 especies nativas de nueve familias y cinco órdenes (**Tabla** 2). En dos eventos no fue posible determinar la especie (NN). Los zorros (*Cerdocyon thous* y *Lycalopex gymnocercus*) fueron las especies con mayor número de registros, con el 59 % (85) del total de los eventos de atropellamientos; mientras que solo se registró una vez al carpincho (*Hydrochoerus hydrochaeris*), margay (*Leopardus wiedii*) y coatí (*Nasua nasua*) (véase **Fig**. 1). El orden Carnívora resultó el más representado, con el 86 % (123) de los registros (**Fig**. 2), así como también el grupo trófico de los omnívoros, con el 69 % (100) de los registros (**Fig**. 3).

Relación de los eventos de atropellamientos con el contexto paisajístico y la infraestructura

La distancia al Parque Nacional Calilegua resultó la variable que mejor predijo el número de eventos de atropellamientos (ωAICc = 0,376; d = 0,093; p = 0,0002), la riqueza de especies (ωAICc = 0,3618; d = 0,093; p = 0,0002) y la SVCE de mamíferos medianos y grandes atropellados (ωAICc = 0,498; d = 0,061; p = 0,0012), relacionándose negativamente (**Fig**. 4). Las **Tablas** 3 y 4 presentan los resultados de la selección de variables y de los mejores modelos. Para el número de eventos de atropellamientos y la riqueza de especies atropelladas, también resultaron plausibles los modelos que incluyeron la distancia al poblado más cercano, el porcentaje de cobertura boscosa y el número de alcantarillas/puentes (véase **Tabla** 3).

Tramos críticos de atropellamientos

Los valores asignados a la intensidad de atropellamientos fueron: "baja", cuando resultaron >0 <10; "media", cuando fueron >10 y <15; y "alta", cuando fueron >15 (Tabla S1). En la Ruta Nacional N° 34 se identificaron 10 tramos críticos, al considerar el número de eventos de atropellamientos y 15 tramos contemplando la SVCE atropelladas (**Fig**. 5, S1 y S2). Respecto de estos últimos, ocho tramos resultaron con intensidad media y los otros siete tuvieron alta intensidad de atropellamientos. La valoración obtenida mediante esta última variable permitió identificar tramos con intensidades medias y altas, algo que no fue posible al considerar únicamente el número de eventos de atropellamientos, el cual reflejó únicamente una intensidad baja. Los tramos críticos identificados por el número de eventos de atropellamientos coincidieron con los tramos críticos identificados por la SCVE atropelladas (**Fig**. 5). Los tramos críticos se concentraron, en mayor medida, en la porción centro y norte de la ruta, próximos al Parque Nacional Calilegua.

DISCUSIÓN

Los impactos de las rutas sobre la biodiversidad muchas veces son subestimados en los estudios de impacto ambiental y, consecuentemente, en la toma de decisiones para evitar, mitigar, monitorear y

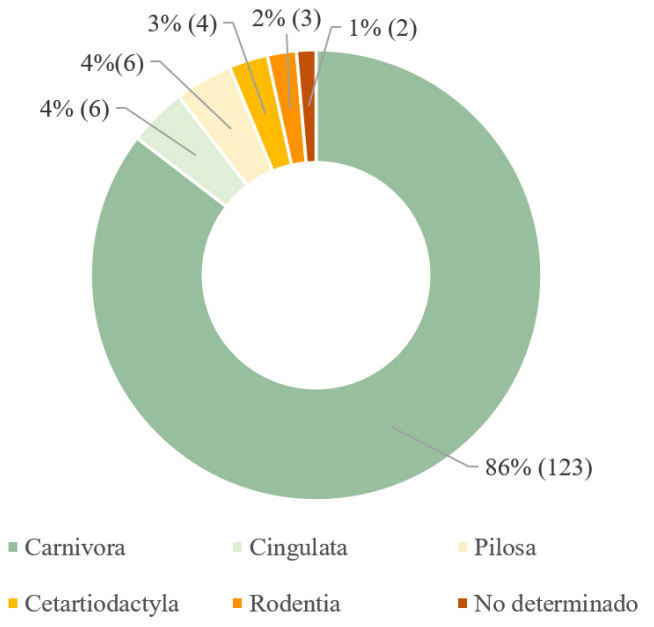

Fig. 2. Eventos de atropellamientos de mamíferos silvestres medianos y grandes agrupados por órdenes en la Ruta Nacional N° 34, provincia de Jujuy.

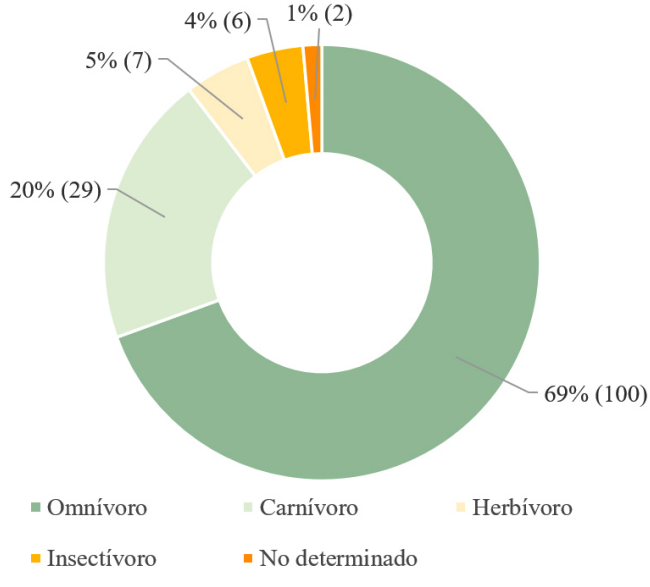

Fig. 3. Eventos de atropellamientos de mamíferos silvestres medianos y grandes agrupados por grupos tróficos en la Ruta Nacional N° 34, provincia de Jujuy.

compensar cualquier efecto potencial adverso, como la mortalidad de fauna por atropellamientos. Este estudio evidencia que la Ruta Nacional N° 34 en Jujuy tiene un impacto negativo sobre la comunidad de mamíferos silvestres nativos medianos y grandes por atropellamientos y se encuentra focalizado en

determinados tramos de su trayectoria, asociados, en gran parte, con la proximidad al Parque Nacional Calilegua.

Las 17 especies de mamíferos medianos y grandes, silvestres y nativos, atropellados fueron principalmente terrestres, lo que representa el 49 % de las especies potencialmente presentes en el área de estudio (sin incluir arborícolas, Jayat & Ortiz 2010). Los eventos de atropellamientos fueron dominados por especies del orden Carnivora, coincidente con el metanálisis informado por Hill et al. (2020). En el contexto argentino, también se menciona que este orden experimenta el impacto más significativo de la infraestructura vial, la cual se considera una de las principales amenazas de este grupo (Abba et al. 2022). En este estudio, los carnívoros incluyen muchas especies de tamaño mediano y hábitos generalistas. Algunos estudios indican que los mamíferos de tamaño mediano tienen mayor riesgo de ser atropellados (Hill et al. 2020; Medrano-Vizcaíno et al. 2022; Su et al. 2023); sin embargo, no existe una conclusión consistente en relación con el tipo de dieta (Su et al. 2023). Las rutas generan, por sí mismas, condiciones de disturbios, a los que se suman en ciertos sectores paisajes circundantes antropizados que pueden favorecer a especies de hábitos alimenticios amplios (Hill et al. 2020; Cervantes-Huerta et al. 2022; Su et al. 2023). El entorno próximo a la Ruta Nacional N° 34 está dominado por ambientes modificados, como poblados y campos de cultivos, en donde son frecuentes residuos humanos, vegetación de rápido crecimiento y alta disponibilidad de insectos y roedores que proveen de abundante alimento para las especies generalistas. En este estudio, los omnívoros fueron el grupo trófico más frecuente en los eventos de atropellamientos, y dentro de estos fueron los zorros (*C. thous* y *L. gymnocercus*), que se adaptan a vivir en áreas disturbadas. También se registraron otras especies frecuentes en esas áreas, como el mayuato (*Procyon cancrivorus*), hurón menor (*Galictis cuja*), gato montés (*Leopardus geoffroyi*), corzuela parda (*Subulo gouazoubira*) y acutí (*Dasyprocta variegata*) (Dotta & Verdade 2007; Andrade-Núñez & Aide 2010; Di Bitetti et al. 2011; Cuyckens et al. 2016b; Bardavid et al. 2024).

En el otro extremo, cabe destacar los registros de atropellamientos de especies amenazadas a escala nacional, como el oso hormiguero (*Myrmecophaga tridactyla*), el ocelote (*Leopardus pardalis*) y el margay (*L. wiedii*), categorizadas como vulnerables a la extinción a escala nacional (Cruz et al. 2019; Di Blanco et al. 2019; Reppucci et al. 2019). También es destacable el registro de lobito de río (*Lontra longicaudis*), que en Yungas es poco frecuente respecto de otras ecorregiones (Albanesi et al. 2017).

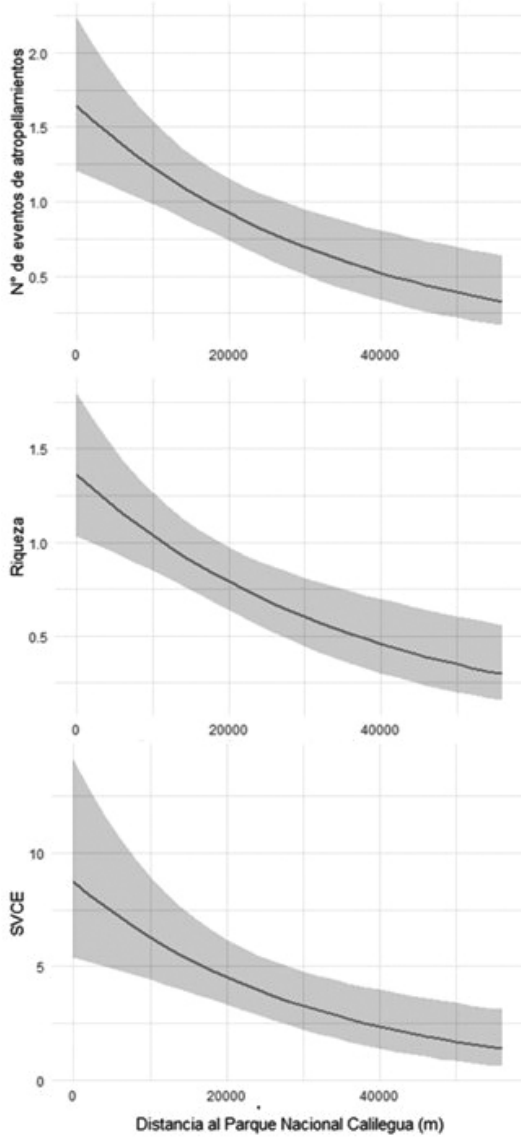

Fig. 4. Relación entre los eventos de atropellamientos, la riqueza de especies y la sumatoria de valores de conservación por especie (SVCE) atropelladas de mamíferos silvestres medianos y grandes respecto de la distancia al Parque Nacional Calilegua (m) en la Ruta Nacional N° 34, provincia de Jujuy. El área sombreada en gris muestra el intervalo de confianza de 95 %.

Si bien no se obtuvieron registros de atropellamientos sobre especies de gran tamaño, como el jaguar (*Panthera onca*), el puma (*Puma concolor*), el

Tabla 2

Mamíferos silvestres medianos y grandes atropellados en la Ruta Nacional N° 34, provincia de Jujuy. Se detalla el grupo trófico y el valor de conservación por especie (VCE).

Orden	Familia	Especie	Nombre común	Grupo trófico	VCE
Cingulata	Chlamyphoridae	*Euphractus sexcinctus*	Gualacate	Omnívoro	5
Pilosa	Myrmecophagidae	*Myrmecophaga tridactyla*	Oso hormiguero	Insectívoro	11
Pilosa	Myrmecophagidae	*Tamandua tetradactyla*	Oso melero	Insectívoro	4
Carnivora	Canidae	*Cerdocyon thous*	Zorro gris	Omnívoro	5
Carnivora	Canidae	*Lycalopex gymnocercus*	Zorro pampa	Omnívoro	4
Carnivora	Felidae	*Leopardus geoffroyi*	Gato montés	Carnívoro	4
Carnivora	Felidae	*Leopardus pardalis*	Ocelote	Carnívoro	11
Carnivora	Felidae	*Leopardus wiedii*	Margay	Carnívoro	11
Carnivora	Felidae	*Leopardus* sp.		Carnívoro	4
Carnivora	Felidae	*Herpailurus yagouaroundi*	Yaguarundi	Carnívoro	5
Carnivora	Mustelidae	*Eira barbara*	Hurón mayor	Carnívoro	7
Carnivora	Mustelidae	*Galictis cuja*	Hurón menor	Carnívoro	4
Carnivora	Mustelidae	*Lontra longicaudis*	Lobito de río	Carnívoro	6
Carnivora	Procyonidae	*Nasua nasua*	Coati	Omnívoro	4
Carnivora	Procyonidae	*Procyon cancrivorus*	Mayuato	Omnívoro	4
Cetartiodactyla	Cervidae	*Subulo gouazoubira*	Corzuela parda	Herbívoro	4
Rodentia	Hydrochaeridae	*Hydrochoerus hydrochaeris*	Carpincho	Herbívoro	5
Rodentia	Dasyproctidae	*Dasyprocta variegata*	Aguti	Herbívoro	7
		NN			4

Tabla 3

Resultados estadísticos de los Modelos Lineales Generalizados (GLM) seleccionados para el número de eventos de atropellamientos, la riqueza de especies atropelladas y la sumatoria de los valores de conservación de especies (SVCE), considerando como variables explicativas las distancias al Parque Nacional Calilegua (Dist_PNC) y a poblados (Dist_pob), el porcentaje de cobertura boscosa en un buffer (Porc_bos) y el número de alcantarillas (Num_alc). K= número de parámetros, LL= Log-likelihood, AICc=Criterio de información de Akaike corregido para muestras pequeñas, $\triangle$AICc =diferencia de AICc entre el modelo de interés y el más parsimonioso, ωAICc= Peso del AICc.

Variables de respuesta	Modelos	K	LL	AICc	$\triangle$AICc	ωAICc
N° de eventos de atropellamientos	Dist_PNC	3	-187,572	381,3	0,00	0,376
	Dist_PNC + Porc_bos	4	-187,105	382,5	1,19	0,208
	Dist_PNC + Dist_pob	4	-187,492	383,3	1,96	0,141
Riqueza	Dist_PNC	3	-169,044	344,3	0,00	0,361
	Dist_PNC + Porc_bos	4	-168,772	345,8	1,58	0,164
	Dist_PNC + Num_alc	6	-166,703	346,0	1,78	0,148
	Dist_PNC + Dist_pob	4	-168,960	346,2	1,95	0,136
SVCE	Dist_PNC	3	-339,672	685,5	0,00	0,498

Tabla 4

Resultados de la relación entre el número de eventos de atropellamientos, la riqueza de especies y la sumatoria de valores de conservación por especie (SVCE) de mamíferos silvestres medianos y grandes atropellados con respecto, y cuando correspondió, a las variables explicativas: distancias al Parque Nacional Calilegua (Dist_PNC) y a poblados (Dist_pob), porcentaje de cobertura boscosa en un buffer (Porc_bos) y el número de alcantarillas (Num_alc), en la Ruta Nacional N° 34, provincia de Jujuy. El nivel de significancia para cada variable se indica: **P <0,005, ***P <0,001. d= devianza.

Variables de respuesta	Variables explicativas	Estimador	Error estándar	Z	P	d
N° de eventos de atropellamientos	Intercepto	4,957^{e-01}	1,576^{e-01}	3,145	0,001660**	0,0927
	Dist_PNC	-2,863^{e-05}	7,738^{e-06}	-3,700	0,000215***	
	Intercepto	6,145^{e-01}	2,027^{e-01}	3,031	0,002434**	0,0988
	Dist_PNC	-2,931^{e-05}	7,786^{e-06}	-3,765	0,000167***	
	Porc_bos	-2,697^{e-03}	2,826^{e-03}	-0,954	0,339917	
	Intercepto	4,363^{e-01}	2,071^{e-01}	2,107	0,035140	0,0938
	Dist_PNC	-2,885^{e-05}	7,798^{e-06}	-3,699	0,000216***	
	Dist_pob	1,274^{e-05}	3,001^{e-05}	0,424	0,671211	
Riqueza	Intercepto	3,080^{e-01}	1,415^{e-01}	2,177	0,0295	0,0933
	Dist_PNC	-2,720^{e-05}	7,316^{e-06}	-3,718	0,0002***	
	Intercepto	3,957^{e-01}	1,839^{e-01}	2,151	0,031451	0,0966
	Dist_PNC	-2,788^{e-05}	7,390^{e-06}	-3,773	0,000162***	
	Porc_bos	-1,833^{e-03}	2,572^{e-03}	-3,773	0,464128	
	Intercepto	9,466^{e-02}	2,443^{e-01}	0,387	0,698418	0,1210
	Dist_PNC	-2,658^{e-05}	7,890^{e-06}	-3,369	0,000754***	
	Num_alca_1alca	4,352^{e-01}	2,435^{e-01}	1,787	0,073914	
	Num_alca_2alca	2,582^{e-01}	2,805^{e-01}	0,921	0,357198	
	Num_alca_3alca	-1,558^{e-01}	3,920^{e-01}	-0,398	0,690931	
	Intercepto	2,559^{e-01}	1,871^{e-01}	1,368	0,171339	0,0943
	Dist_PNC	-2,751^{e-05}	7,383^{e-06}	-3,725	0,000195***	
	Dist_pob	1,161^{e-05}	2,755^{e-05}	0,422	0,673327	
SVCE	Intercepto	2,167	0,244	8,869	<2^{e-16}***	0,0614
	Dist_PNC	-3,265^{e-05}	1,005^{e-05}	-3,248	0,00116**	

tapir (*Tapirus terrestris*), el pecarí de collar (*Dicotyles tajacu*) y el pecarí labiado (*Tayassu pecari*), es posible que se hayan adaptado al disturbio generado por la ruta, alejándose o usando las alcantarillas existentes (0 a 5 alcantarillas/km) para desplazarse de un lado a otro de ella. En las alcantarillas de esa ruta se ha registrado el paso de estos felinos y ungulados, con excepción del pecarí labiado (de Bustos S. en prep.). En esta región, *T. pecari* ha sufrido una retracción poblacional significativa en los últimos años (Bardavid et al. 2019; Fragoso et al. 2022), y recientemente podría estar recuperándose (Reppucci et al. 2022), por lo que la ausencia de registros en los atropellamientos y en las alcantarillas bien podría atribuirse a su baja densidad. Jacobson et al. (2016) plantea que las respuestas conductuales de ungulados y felinos ante el peligro percibido del tráfico vehicular moderado y alto es el de evitación. Esta respuesta incluye la evasión directa de áreas de alto tráfico, la modificación de sus patrones de movimiento y el uso de estructuras para cruzar rutas de forma segura. Asimismo, la ausencia de registros de grandes mamíferos atropellados en nuestro estudio va en línea con Chen & Koprowski (2019), quienes demostraron que el grado de evitación del cruce está relacionado positivamente con la masa corporal de las especies.

En este estudio se registraron 144 eventos de atropellamientos de mamíferos nativos medianos y grandes a lo largo de 137,6 km durante los períodos 2017-2019 y 2021-2023, lo cual supera ligeramente lo informado por Cuyckens et al. (2016a), que documen-

taron 126 eventos de este grupo entre 2000 y 2001 en 255 km, incluyendo el mismo tramo de ruta. Aquí se informan 10 especies antes no registradas: acutí (*D. variegata*), carpincho (*H. hydrochaeris*), gualacate (*Euphractus sexcinctus*), lobito de río (*L. longicaudis*), ocelote (*L. pardalis*), margay (*L. wiedii*), yaguarundi (*Herpailurus yagouaroundi*), corzuela parda (*S. gouazoubira*), oso melero (*Tamandua tetradactyla*) y oso hormiguero (*M. tridactyla*); mientras que no se detectaron a cuatro especies mencionadas por esos autores: coipo (*Myocastor coypus*), comadreja overa (*Didelphis albiventris*), zorrino (*Conepatus chinga*) y gato del pajonal (*Leopardus garleppi*). Llama la atención el registro de esta última especie, dado que su distribución en Yungas ha sido mencionada en los pisos más altos (>1.500 msnm) (Di Bitetti et al. 2011), y esta ruta no supera los 900 msnm. *M. coypus* está estrechamente ligado a cuerpos de agua y es extremadamente raro en Yungas (Cuyckens et al. 2016a). Por su parte, *D. albiventris* es una especie frecuente en la región, por lo que la ausencia de registros en este estudio podría atribuirse a un escaso tiempo de persistencia de las carcasas ante el clima, el alto flujo vehicular, la actividad de carroñeros, o también a la baja detección debido a su tamaño relativamente pequeño (Teixeira et al. 2013). En consecuencia, es posible que este estudio haya tenido el sesgo de registrar especies de tamaños mayores.

Las observaciones de animales atropellados realizadas desde vehículos con frecuencia producen subestimaciones en la cantidad real de registros, respecto de relevamientos realizados sistemáticamente a muy bajas velocidades o a pie. Ogletree & Mead (2020) informaron que aproximadamente el 40 % de las carcasas se pasan por alto durante recorridos en vehículos; mientras que Slater (2002) encontró que los recuentos reales pueden ser hasta 16 veces mayores que las observaciones realizadas desde vehículos. Aquí se presentan los valores observados y, no considerar estas limitaciones, puede subestimar significativamente el impacto de los atropellamientos en la fauna.

Las modificaciones del paisaje producidas por las actividades humanas y sus características naturales de éste han empleado como variables para predecir efectos en la presencia de diferentes vertebrados asociados a las rutas (Cervantes-Huerta et al. 2022; Medrano-Vizcaíno et al. 2023). En el área de estudio aquí evaluada, la ruta atraviesa asentamientos humanos, zonas agrícolas y áreas boscosas, en cada una de las cuales el tipo y magnitud de la influencia humana será obviamente diferente, lo que afecta diferencialmente el ensamble de mamíferos. El 59,6 % de los eventos de atropellamientos ocurrieron en proximidades de campos de cultivos, el 2,8 % cerca de poblados y el 37,6 % en áreas boscosas. Sin embargo, la proximidad al Parque Nacional Calilegua, que conserva hábitats suficientemente bien preservados, ha mostrado ser la variable de mayor peso cuando se evaluó el número de eventos de atropellamientos, la riqueza del ensamble de especies y el valor de conservación de estas (SVCE). La proximidad de esta área protegida a la ruta sugiere que funciona como una fuente de animales hacia el entorno. A partir de esto, es posible suponer que la ruta produzca un impacto sobre las poblaciones de fauna del área protegida, al remover por atropellamientos la fauna circundante a la ruta. Los hallazgos aquí presentados son consistentes con Bauni et al. (2017), quienes informaron que las especies en estado crítico solo fueron atropelladas en áreas protegidas, y lo relacionan con que en esas áreas son las que poseen mayor riqueza y abundancia de esas especies. Pero, si bien se esperaba que la frecuencia de zorros se asocie más a áreas disturbadas, esto no resultó así y, de igual forma que para otras especies de mayor relevancia biológica, la proximidad al área protegida también fue importante.

Las alcantarillas instaladas en las rutas para favorecer el escurrimiento esporádico del agua, en muchas ocasiones pueden funcionar como verdaderos pasos de fauna (Clevenger et al. 2002; Charles et al. 2023, de Bustos et al. en prep.), lo cual disminuye el impacto por aislamiento. En este estudio, el número de alcantarillas no fue una variable relacionada con los eventos de atropellamientos; sin embargo, no se consideraron las dimensiones de cada una de ellas, que son variables a lo largo de esta ruta, y algunas podrían no ser funcionales para el paso de ciertos mamíferos. En consecuencia, la luz de las alcantarillas (ancho*alto/largo) debería ser evaluada como variable de respuesta en un análisis a futuro.

Los tramos críticos de atropellamientos pueden ser útiles para indicar sitios apropiados para la mitigación. En este estudio se identificaron tramos críticos debido al atropellamiento de mamíferos en un 11 % del largo de la Ruta Nacional N°34, en Jujuy. Por lo general, esos tramos son espacialmente similares si se considera el número de eventos de atropellamientos y SVCE atropelladas. Sin embargo, la valoración obtenida con esta última variable permitió diferenciar tramos con intensidad media y alta, lo que no fue posible establecer solo al considerar el número de eventos de atropellamientos, que fue de una intensidad baja. En consecuencia, se recomienda el uso de SVCE a los fines de identificar

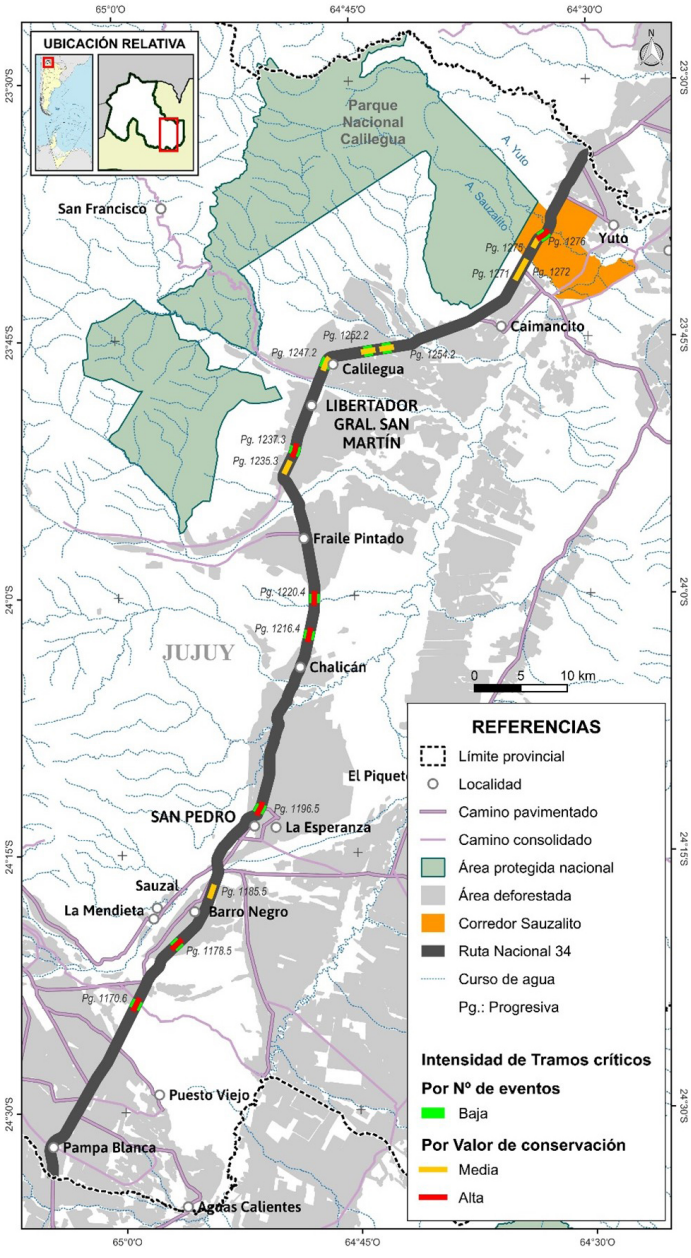

Fig. 5. Tramos críticos de atropellamientos de mamíferos silvestres medianos y grandes en la Ruta Nacional N° 34, provincia de Jujuy, considerando el número de eventos de atropellamientos y la sumatoria del valor de conservación por especie (SVCE) atropelladas.

prioridades de acción para mitigar el impacto de las rutas debido a atropellamientos. Se destaca la mayor concentración de tramos con impacto alto y medio en el sector centro y norte de la ruta, en las proximidades al Parque Nacional Calilegua, los cuales estuvieron asociados mayormente a áreas boscosas, pero también a áreas de cultivo. Los tramos de la ruta más próximos al Parque Nacional Calilegua

distan entre 1 y 3 km. Cervantes-Huerta et al. (2022) sugirieron que los efectos de la ruta se expanden hasta 250 m, pero nuestro estudio indica que los impactos pueden extenderse más, especialmente para mamíferos grandes, lo que coincide con Benítez-López et al. (2010). La antigüedad de las rutas puede afectar su capacidad para indicar los mejores lugares para mitigar atropellamientos, ya que las poblaciones animales han disminuido severamente o se han extinguido en ciertos tramos debido a la mortalidad pasada ("desgaste poblacional", Teixeira et al. 2017). En este estudio, la cercanía al Parque Nacional Calilegua y su funcionamiento como fuente que alimenta el entorno (sumidero), asegura que los tramos críticos identificados puedan mantenerse a lo largo del tiempo, en una ruta pavimentada hace más de 40 años.

En los corredores biológicos Sauzalito y Chalicán-Fraile Pintado se registraron mayores impactos de la ruta debido a los atropellamientos de mamíferos. Estas áreas son hábitats para especies emblemáticas y amenazadas, como el jaguar (*P. onca*), el tapir (*T. terrestris*) y los pecaríes (*D. tajacu* y *T. pecari*) (Albanesi et al. 2019). Además de los efectos de la ruta, estas zonas enfrentan presiones significativas, como la cacería frecuente, la extracción de madera y, en el caso del Corredor Sauzalito, los incendios recurrentes (Lizárraga et al. 2023). La pérdida de conectividad en estos corredores representa una amenaza clave para las Yungas argentinas, ya que conectan los últimos espacios naturales existentes entre el Parque Nacional Calilegua y su entorno con las Yungas meridionales (Serranías de Santa Bárbara) y con la ecorregión del Chaco. Asimismo, la Selva Pedemontana de Yungas y las porciones del Chaco presentes en estos corredores son ecosistemas de alto riesgo de conservación (Brown et al. 2006; Kuemmerle 2017). Por lo tanto, resulta imprescindible implementar acciones efectivas para su conservación y manejo sostenible, así como también medidas de mitigación que reduzcan el efecto de barrera que actualmente genera la ruta.

Los resultados obtenidos en este estudio señalan impactos concretos de la Ruta Nacional N° 34 en el norte de Argentina para los mamíferos grandes y medianos, los cuales deberían ser considerados por los tomadores de decisiones para implementar medidas de mitigación a gran escala en las zonas identificadas como críticas. Esto constituirá un aporte para aumentar la permeabilidad de la ruta y, así, la conectividad del paisaje, y también para disminuir la frecuencia de muertes por atropellamientos y, como consecuencia, los riesgos de accidentes para los conductores automovilístas.

RECOMENDACIONES

El presente trabajo expone la necesidad urgente de implementar medidas de mitigación para reducir los atropellamientos de mamíferos silvestres medianos y grandes en la Ruta Nacional N° 34, en la provincia de Jujuy. Por lo general, no hay solo una medida para disminuir los atropellamientos de la fauna por vehículos, sino que se requiere la aplicación de una serie de medidas integradas y adaptadas a las características paisajísticas de cada zona, y enfocadas en el grupo biológico que se intenta proteger. Medidas de mitigación, como pasos inferiores, pasos elevados, vallas y alambrados suelen ser una alternativa para muchos vertebrados (Glista et al. 2009; Grilo et al. 2010). Sin embargo, la efectividad de estas medidas depende de su ubicación y condición a lo largo de la ruta (Glista et al. 2009) y necesita siempre ser evaluada (Rytwinsky et al. 2016).

En consecuencia, se recomienda enfocar los esfuerzos de mitigación en los tramos identificados como críticos, particularmente con intensidad alta y media de atropellamientos (15). En las alcantarillas y puentes deberían desarrollarse pasos secos a lo largo de estos (Villalva et al. 2013), ya que son reconocidos como una medida que disminuye el efecto de barrera (Soanes et al. 2024). También sería deseable instalar alambrados conductores hacia los hombros de las alcantarillas, a fin de impedir el paso de los animales por la ruta y, a la vez, dirigirlos hacia estas estructuras con el objetivo de disminuir la mortalidad (Rytwinsky et al. 2016). Además, debería promoverse la reducción de la velocidad de los vehículos, para lo que se sugiere la instalación de estructuras que persuadan a los conductores a disminuirla. El uso de carteles de señalización informativos y advertencia, badenes, lomos de burro, bandas rugosas, entre otros pueden funcionar. Sin embargo, se ha observado que estos muchas veces no son suficientes y que la medida más efectiva es la instalación de estaciones o radares de control de velocidad, acompañadas de sanciones de tránsito. Como complemento, deberían desarrollarse campañas de educación vial-ambiental para mejorar las actitudes de los conductores en beneficio de la conservación de la vida silvestre.

Dado que se encuentra en desarrollo la ampliación de la Ruta Nacional N° 34 en un sector de Jujuy, para pasar a dos carriles en cada vía y, además, esa ampliación está planificada en toda su extensión, deberían tenerse en cuenta los estudios científicos realizados y las recomendaciones propuestas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Fundación Biodiversidad y *World Land Trust* que permitieron los recorridos periódicos de la Ruta Nacional N° 34. LOG fue financiada por una beca postdoctoral del Programa USP Sustentabilidade de la Superintendência de Gestão Ambiental de la Universidad de São Paulo. FZT fue financiada por una beca postdoctoral de la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)-Código de Financiación 001. Agradecemos a los tres revisores anónimos que ayudaron a mejorar este trabajo.

LITERATURA CITADA

Abba, A. M. et al. 2022. Categorización de los mamíferos de Argentina 2019: resumen y análisis de las amenazas. Mastozoología Neotropical 29:1-73. https://doi.org/10.31687/saremMN.22.29.1.08.e0657

Albanesi, S. A., J. P. Jayat, P. Alberti, & A. D. Brown. 2017. New record of river otter (*Lontra longicaudis* Olfers, 1818) in the extreme South of Yungas of Northwestern Argentina. IUCN Otter Spec. Group Bull. 34:19-28.

Albanesi, S. A., P. Alberti, J. P. Jayat, & A. D. Brown. 2019. Mamíferos de mediano y gran porte en corredores boscosos del pedemonte de yungas del noroeste argentino. Mastozoología Neotropical 6:220-232. https://doi.org/10.31687/saremMN.19.26.2.0.11

Anderson, D. R., K. P. Burnham, & W. L. Thompson. 2000. Null hypothesis testing: problems, prevalence, and an alternative. Journal Wildlife Management 64:912-923.

Andrade-Núñez, M. J., & T. Aide. 2010. Effects of habitat and landscape characteristics on medium and large mammal species richness and composition in northern Uruguay. Zoologia (Curitiba) 27. https://doi.org/10.1590/S1984-46702010000600012

Andrews, A. 1990. Fragmentation of habitat by roads and utility corridors: a review. Australian Zoologist 26:130-141.

Attademo, A. M. et al. 2011. Wildlife vertebrate mortality in roads from Santa Fe Province, Argentina. Rev. Mex. Biodiv. 82(3):915-925. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532011000300018&lng=es&nrm=iso

Bardavid, S., S. De Bustos, N. Politi, & L. Rivera. 2019. Escasez de registros de pecarí labiado (*Tayassu pecari*) en un sector de alto valor de conservación de las Yungas australes de Argentina. Mastozoología Neotropical 26(1):167-173. https://doi.org/10.31687/saremMN.19.26.1.0.11

Bardavid, S., L. Rivera, S. Martinuzzi, A. M. Pidgeon, V. C. Radeloff, & N. Politi. 2024. Identifying medium- and large-sized mammal species sensitive to anthropogenic impacts for monitoring in subtropical montane forests. Environmental Conservation 1-8. https://doi.org.10.1017/S037689292400002X

Barton, K. 2016. MuMIn: multi-model inference. RFoundation for Statistical Computing, Vienna. http://cran.r-project.org/package=MuMIn)"http://CRAN.R-project.org/package=MuMIn

Barton, K. 2023. Package MuMin. Vers. 1.47.5.

Bauni, V., J. Anfuso, & F. Schivo. 2017. Mortalidad de fauna silvestre por atropellamientos en el bosque atlántico del Alto Paraná, Argentina. Ecosistemas 26:54-66.

Bennett, A. F. 1991. Roads, roadsides and wildlife conservation: A review. Nature Conservation 2: The Role of Corridors (D. A. Saunders & R. J. Hobbs, eds.). Surrey Beatty. Chipping Norton, Australia.

Benítez-López, A., R. Alkemade, & P. A. Verweij. 2010. The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: A meta-analysis. Biological Conservation 143:1307-1316.

Bianchi, A. R., & S. A. C. Cravero. 2010. Atlas climático digital de la República Argentina. INTA Ediciones, Argentina.

Bissonette, J., & W. Adair. 2008. Restoring Habitat permeability to roaded landscapes with isometrically-scaled wildlife crossings. Biological Conservation 141:482-488.

Bowyer, R. T., M. S. Boyce, J. R. Goheen, & J. L. Rachlow. 2019. Conservation of the world's mammals: status, protected areas, community efforts, and hunting. Journal of Mammalogy 100:923-94. https://doi.org/10.1093/jmammal/gyy180

Brown, A. D., S. Pacheco, T. Lomáscolo, & L. Malizia. 2006. Situación ambiental en los bosques andinos yungueños. Pp. 53-71. La Situación Ambiental Argentina 2005 (A. D. Brown, U. Martínez Ortíz, M. Acerbi, & J. Corcuera, eds.). Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, Argentina.

Burnham, K. P., & D. R. Anderson. 2002. Model selection and multimodel inference: A Practical Information-theoretic Approach. Springer-Verlag, New York, USA.

Burkart, R., N. O. Barbaro, R. O. Sanchez, & D. A. Gomez. 1999. Eco-regiones de la Argentina. Administración de Parques Nacionales.

Caceres, N. C. 2011. Biological characteristics influence mammal roadkill in an Atlantic Forest-Cerrado interface in South-Western Brazil. Italian Journal of Zoology 78:379-389. https://doi.org/10.1080/11250003.2011.566226

Ceballos, G., & P. R. Ehrlich. 2002. Mammal population losses and the extinction crisis. Science 296:904-907.

Cervantes-Huerta, R., M. Equihua, V. J. Colino-Rabanal, A. González-Romero, J. Duran-Antonio, & A. González-Gallina. 2022. Controlling human activities as confounding variable in road studies. Environmental Impact Assessment Review 96:106852. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106852

Charles, F. E., M. J. Brady, & A. L. Smith. 2023. Use of road infrastructure for movement by common terrestrial vertebrates. Wildlife Letters 1:97-106. https://doi.org/10.1002/wll2.12019

Chen, H. L., & J. L. Koprowski. 2019. Can we use body size and road characteristics to anticipate barrier effects of roads in mammals? A meta-analysis. Hystrix 30:1-7.

Clevenger, A. P., B. Chruszcz, & K. Gunson. 2002. Drainage culverts as habitat linkages and factors affecting passage by mammals. Journal of Applied Ecology 38:1340-1349. https://doi.org/10.1046/j.0021-8901.2001.00678.x

Coelho, I. P., A. Kindel, & A. V. P. Coelho. 2008. Roadkills of vertebrate species on two highways through the Atlantic Forest Biosphere Reserve, southern Brazil. European Journal of Wildlife Research 54:689-699. https://doi.org/10.1007/s10344-008-0197-4

Coelho, I. P., F. Z. Teixeira, P. Colombo, A. V. P. Coelho, & A. Kindel. 2012. Anuran road-kills neighboring a periurban reserve in the Atlantic Forest, Brazil. Journal of Environmental Management 112:17-26. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.07.004

Coelho, A. V. P., I. P. Coelho, F. T. Teixeira, & A. Kindel. 2014. Siriema: road mortality software. User's Manual V. 2.0. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Brazil. https://github.com/nerf-ufrgs/siriema

Cruz, P. et al. 2019. Categorización 2019 de los mamíferos de Argentina según su riesgo de extinción. Lista Roja de los Mamíferos de Argentina (SAyDS & SAREM, eds.). http://cma.sarem.org.ar

Cuyckens, G. A. E., L. S. Mochi, M. Vallejos, P. G. Perovic, & F. Biganzoli. 2016a. Patterns and composition of road-killed wildlife in Northwest Argentina. Environmental Management. https://doi.org/10.1007/s00267-016-0755-6

Cuyckens, G. A. E. et al. 2016b. Refined assessment of the geographic distribution of Geoffro's cat (*Leopardus geoffroyi*) (Mammalia: Felidae) in the Neotropics. Journal of Zoology 298:285-292.

Di Bitetti, M. S., S. A. Albanesi, M. J. Foguet, G. A. E. Cuyckens, & A. D. Brown. 2011. The Yungas Biosphere Reserve of

Argentina: a hot spot of South American wild cats. Cat News 54:25-29.

Di Blanco, Y. E., D. Varela, & A. M. Abba. 2019. *Myrmecophaga tridactyla*. Categorización 2019 de los mamíferos de Argentina según su riesgo de extinción. Lista Roja de los Mamíferos de Argentina (SAyDS & SAREM, eds.). http://cma.sarem.org.ar

Dotta, G., & L. M. Verdade. 2007. *Myrmecophaga tridactyla*. Trophic categories in a mammal assemblage: diversity in an agricultural landscape. Biota Neotropica 7:287-292. https://doi.org/10.1590/S1676-06032007000200031

Fahrig, L., & T. Rytwinski. 2009. Effects of roads on animal abundance: an empirical review and synthesis. Ecology and Society 14:21.

Forman, R. T. T., & L. E. Alexander. 1998. Roads and their major ecological effects. Annual Review of Ecology and Systematics 29:207-231.

Fragoso, J. M. V. et al. 2022. Large-scale population disappearances and cycling in the white-lipped peccary, a tropical forest mammal. Plos One 17:e0276297. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0276297

Franklin, A. B., T. M. Shenk, D. R. Anderson, & K. P. Burnham. 2001. Statistical model selection: an alternative to null hypothesis testing. Modeling in Natural Resource Management: Development, Interpretation, and Application (T. M. Shenk & A. B. Franklin, eds.). Island Press, Washington, D.C., USA.

Glista, D. J., T. L. Devault, & J. A. Dewoody. 2009. Una revisión de las medidas de mitigación para reducir la mortalidad de la vida silvestre en las carreteras. Paisaje y Urbanismo 91:1-7.

González-Suárez, M., F. Zanchetta Ferreira, & C. Grilo. 2018. Spatial and species-level predictions of road mortality risk using trait data. Global Ecology and Biogeography 27:1093-1105. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.027

Grilo, C., J. A. Bissonette, & P. C. Cramer. 2010. Chapter 5: Mitigation measures to reduce impacts on biodiversity. Pp. 73-114. Highways: Construction, Management and Maintenance (S.R. Jones, ed.). Nova Science Publishers, Inc. USA.

Gunson, K. E., G. Mountrakis, & L. J. Quackenbush. 2011. Spatial wildlife-vehicle collision models: A review of current work and its application to transportation mitigation projects. Journal of Environmental Management 92:1074-1082. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.027

Gunson, K., & F. Z. Teixeira. 2015. Road–Wildlife Mitigation Planning can be Improved by Identifying the Patterns and Processes Associated with Wildlife-Vehicle Collisions. Handbook of Road Ecology (R, van der Ree, D. J. Smith, & C. Grilo, eds). https://doi.org/10.1002/9781118568170.ch13

Hill, J. E., T. L. Devault, & J. L. Belant. 2020. A review of ecological factors promoting road use by mammals. Mammals Review 51:214-227.

Infraestructura de datos Espaciales de Salta. 2023. Monitoreo de desmontes del NOA-Período 1976-2022. http://geoportal.idesa.gob.ar/layers/geonode%3Adesmontes_noa_2022

Instituto Geográfico Nacional. 2023. Capas SIG: Áreas Protegidas, Localidad. https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG

Jackson, N. D. & L. Fahrig. 2011. Relative effects of road mortality and decreased connectivity on population genetic diversity. Biological Conservation 144(12):3143-3148. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.09.010

Jacobson, S. L., L. L. Bliss-Ketchum, C. E. Rivera, & W. P. Smith. 2016. A behavior-based framework for assessing barrier effects to wildlife from vehicle traffic volume. Ecosphere 7:1-15. https://doi.org/10.1002/ecs2.1345

Jaeger, J. A., L. Fahrig, & K. C. Ewald. 2005. Does the configuration of road networks influence the degree to which roads affect wildlife populations? UC Davis: Road Ecology Center. https://escholarship.org/uc/item/1783q0kv

Jayat, P., & P. Ortiz. 2010. Mamíferos del pedemonte de Yungas de la Alta Cuenca del Río Bermejo en Argentina: una línea de base de diversidad. Mastozoología Neotropical 17:69-86.

Johnson, J. B., & K. S. Omland. 2004. Model selection in ecology and evolution. Trends Ecol. Evol. 19:101-108.

Kuemmerle, T. et al. 2017. Forest conservation: remember Gran Chaco. Science 355:465-465.

Lizárraga, L., L. Rivera, P. Názaro, & N. Politi. 2023. El Bosque Pedemontano en llamas: situación de incendios forestales en las provincias de Salta y Jujuy entre 2012-2022. Administración de Parques Nacionales, INECOA & Fundación CEBio. https://sib.gob.ar/archivos/El_Bosque_Pedemontano_en_llamas.pdf

Lüdecke, D., F. Aust, S. Crawley, & M. Ben-Shachar. 2021. ggeffects: Create tidy data frames of marginal effects for "ggplot" from model outputs. https://cran.rproject.org/web/packages/ggeffects/index.html

Lüdecke, D. et al. 2023. Package performance. Vers. 0.10.4.

Martin, G. M. et al. 2024. ggeffects: Requiem for Argentine mammals: A spatial framework for mapping extinction risk. Journal for Nature Conservation 82:126759. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2024.126759

McGregor, R. L., D. J. Bender, & L. Fahrig. 2008. Do small mammals avoid roads because of the traffic? Journal of Applied Ecology 45:117-123.

Medrano-Vizcaíno, P. et al. 2022. Roadkill patterns in Latin American birds and mammals. Global Ecology Biogeography. https://doi.org/10.1111/geb.13557

Medrano-Vizcaíno P., C. Grilo, D. Brito-Zapata & M. González-Suárez. 2023. Características del paisaje y de las carreteras vinculadas a la mortalidad de la vida silvestre en la Amazonía. Biodiversity and Conservation 32:4337-4352. https://doi.org/10.1007/s10531-023-02699-4

Ministerio de Obras Públicas, Argentina. 2021. Informe de coyuntura sobre infraestructura vial. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe_de_coyuntura_infraestructura_vial_junio_2021.pdf

Morrone, J. J. 2014. Biogeographical regionalisation of the Neotropical region. Zootaxa 3782:1-110. https://doi.org/10.11646/zootaxa.3782.1.1

Morrone, J. J. 2015. Biogeographical regionalisation of the Andean region. Zootaxa 3936:207-236. https://doi.org/10.11646/zootaxa.3936.2.3

Nigro, N. A., & N. Lodeiro Ocampo. 2009. Atropellamiento de fauna silvestre en las rutas de la Provincia de Misiones, Argentina. Análisis y propuestas preliminares para mitigar su impacto. Reportes Tigreros. Serie Conservación 2:1-19.

Ogletree, K. A., & A. J. Mead. 2020. What Roadkills Did We Miss in a Driving Survey? A Comparison of Driving and Walking Surveys in Baldwin County, Georgia. Georgia Journal of Science 78:8.

Pagany, R. 2020. Wildlife-vehicle collisions-Influencing factors, data collection and research methods. Biological Conservation 251:108758.

Geographic Information System. 2024. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. http://www.qgis.org

R Core Team. 2018. R: A Language and Environment for Statistical Computing.

Redford, K. 1992. The empty forest. Bioscience 42:412-422.

Reppucci, J. I., P. Cruz, P. G. Perovic, & G. A. E. Cuyckens. 2019. *Leopardus wiedii*. Categorización 2019 de los mamíferos de Argentina según su riesgo de extinción. Lista Roja de los mamíferos de Argentina (SAyDS-SAREM, eds.). http://cma.sarem.org.ar

Reppucci, J., S. De Bustos, F. Caruso Lombardi, R. Fleytas, & P. Perovic. 2022. Are white-lipped peccaries from Argentinean Yungas looking to a brighter future? Neotropical Biodiversity. http://dx.doi.org/10.1080/23766808.2022.2148434

Ripley, B., B. Venables, D. M. Bates, K. Hornik, A. Gebhardt, & D. Firth. 2021. MASS: Support functions and datasets for

venables and Ripley's MASS (7.3-54). https://CRAN.R-project.org/package=MASS

Rytwinski, T., & L. Fahring. 2012. Do species life history traits explain population responses to roads? A meta-analysis. Biological Conservation 147:87-98. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.11.023

Rytwinsky, T., et al. 2016. How effective is road mitigation at reducing road-kill? A meta-analysis. PLoS ONE 11:1-25. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166941

Sala, O. E., et al. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. Science 287:1770-74.

Sanderson, E. W., M. Jaiteh, M. A. Levy, K. H. Redford, A. V. Wannebo, & G. Woolmer. 2002. The human footprint and the last of the wild. Bioscience 52:891-904.

Schipper, J., J. Chanson, F. Chiozza, & N. A. Cox. 2008. The status of the world's land and marine mammals: diversity, threat, and knowledge. Science 322:225-230.

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de La Nación (SAyDS) y Sociedad Argentina para el estudio de los Mamíferos (SAREM). 2019. Categorización 2019 de los mamíferos de Argentina según su riesgo de extinción. Lista Roja de los mamíferos de Argentina. http://cma.sarem.org.ar https://doi.org/10.31687/saremlr.19.140

Slater, F. M. 2002. An assessment of wildlife road casualties: the potential discrepancy between numbers counted and numbers killed. Web Ecology 3:33-42. https://doi.org/10.5194/we-3-33-2002

Soanes, K. et al. 2024. Do wildlife crossing structures mitigate the barrier effect of roads on animal movement? A global assessment. Journal of Applied Ecology 61:417-430. https://doi.org/10.1111/1365-2664.14582

Spellerberg, I. F. 1998. Ecological effects of roads and traffic: a literature review. Global Ecology and Biogeography Letters 7:317-333.

Su, H., Y. Wang, Y. Yang, S. Tao, & Y. Kong. 2023. An analytical framework of the factors affecting wildlife-vehicle collisions and barriers to movement. Sustainability 15:11181. https://doi.org/10.3390/su151411181

Teixeira, F. Z. et al. 2013. Are road-kill hotspots coincident among different vertebrate groups? Oecologia Australis 17:36-47. http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2013.1701.04

Teixeira, F. T., A. Kindel, S. M. Hartz, S. Mitchell, & L. Fahrig. 2017. When road-kill hotspots do not indicate the best sites for road-kill mitigation. Journal Appl Ecol 54:1544-1551. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12870

Teta, P., A. M. Abba, A. Argoitia, G. H. Cassini, S. Lucero & A. A. Ojeda. 2024. Lista revisada de los mamíferos de Argentina 2024. Sociedad Argentina para el Estudio de los Mamíferos. https://www.sarem.org.ar/lista-de-mamiferos-de-argentina-2024/

UNEP. 2001. GLOBIO. Global methodology for mapping human impacts on the biosphere. Report UNEP/DEWA/TR 25. Nairobi: United Nations Environmental Programme.

Villalva, P., D. Reto, M. Santos-Reis, E. Revilla & C. Grilo. 2013. Do dry ledges reduce the barrier effect of roads? Ecological Engineering 57:143-148. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.04.005

MATERIAL SUPLEMENTARIO EN LÍNEA

Tabla S1
Figura S1
Figura S2